

列車前方映像を用いた長尺な軌道面画像の生成手法

向嶋 宏記* 長峯 望 (鉄道総合技術研究所)

Generation method of a continuous top-view image of the railway track using train frontal images

Hiroki Mukojima*, Nozomi Nagamine (Railway Technical Research Institute)

Railroads are laid out with facilities scattered along the tracks. This makes it great labor-intensive to check the location of facilities. Therefore, we have been developing a system that supports the maintenance of facilities along railway lines using video images taken in front of the train. In this paper, we propose a new method to produce a more natural top-view image by changing the composition method and report that we have confirmed that the system can generate a top-view image of the entire train run.

キーワード：列車前方映像，俯瞰画像，画像合成，メンテナンス

(Keywords: Train frontal images, Top-view image, Image stitching, Maintenance)

1. はじめに

鉄道は線路沿線に設備が散らばって敷設されている。そのため、設備の位置を確認する業務などに非常に労力がかかる。そこで我々は、列車前方の映像を用いて沿線設備のメンテナンスを支援するシステムを研究している¹⁾。

これまでに、メンテナンス支援システムの 1 つの機能として、列車の前方映像からドローンで撮影したような長尺な軌道面の俯瞰画像を生成する手法を提案してきた²⁾。本稿では、合成方法に変更を加えることにより、さらに自然な俯瞰画像となる手法を提案し、走行全体で俯瞰画像を生成できることを確認したので報告する。

2. 列車前方映像からの軌道面俯瞰画像生成手法

鉄道車両の運転台から、前方の展望映像を撮影した映像を用いて、軌道面の連続した俯瞰画像を生成する手法を提案する。カメラ幾何を解くことで、パノラマ画像を生成する手法³⁾も提案されているが、カメラ幾何を解いて画像の位置合わせをする場合、長大な空間では計算量が膨大になり誤差も大きくなりやすい。提案手法では、軌道面を平面とみなし、レールに沿って走査しながら撮影していると考え、図 1 のように映像中の連続するフレームをから軌道面の領域を短冊状に区切り、繋げることで列車の前方映像から走行範囲の軌道面の俯瞰画像を生成する。

〈2・1〉俯瞰画像への変換 運転台から撮影された映像は図 2(a)に示すように軌道面が消失点に向かって台形状に撮られる。そのため、前方映像からそのまま短冊状の領域を切り出しても連続した俯瞰画像として結合できない。そこで、射影変換によって軌道面を真上から撮影したよう

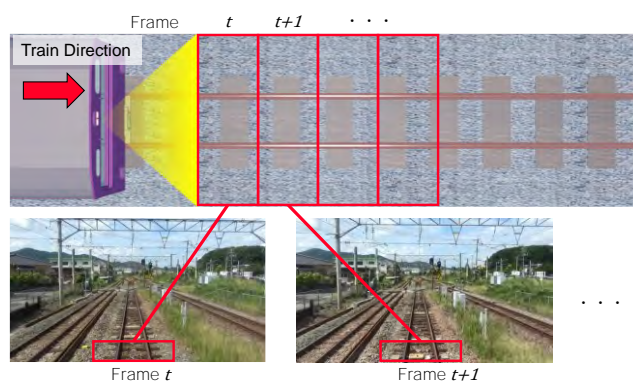


図 1 俯瞰画像生成手法の考え方

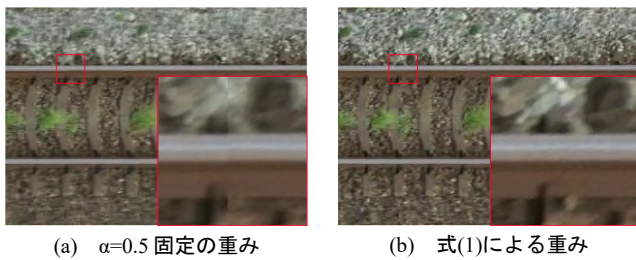
Fig. 1. The concept of the proposed method for generating top-view



図 2 俯瞰画像への変換例

Fig. 2. Example of conversion to top-view image.

な画像に変換する。射影変換とは、任意の四角形から任意の四角形への線形変換であり、変換には 4 組の対応点が必要となる。地面に対してローリングしておらず、レールに対してヨーイングもしていないと仮定すれば、画像中の 2 本の水平線と直線区間における 2 本のレールが交差する 4 点からなる四角形は、真上から撮像した場合に長方形となる。アスペクト比については、大きさが既知のまくらぎなどの設備の情報を用いて、変換後の長方形の大きさを正しい比率に調整できる。射影変換によって前方映像から俯瞰



(a) $\alpha=0.5$ 固定の重み (b) 式(1)による重み

図 3 アルファブレンディングの結果例

Fig. 3. Composite result by each blending method.

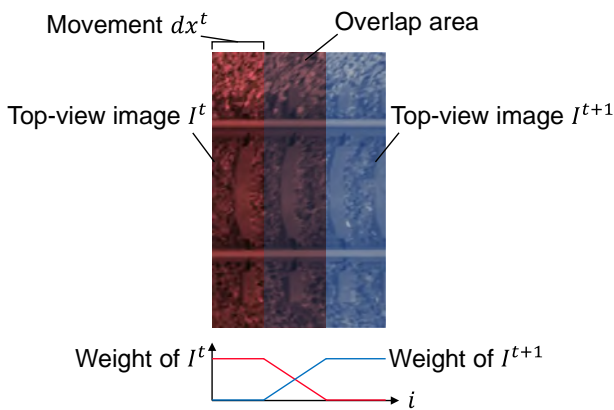


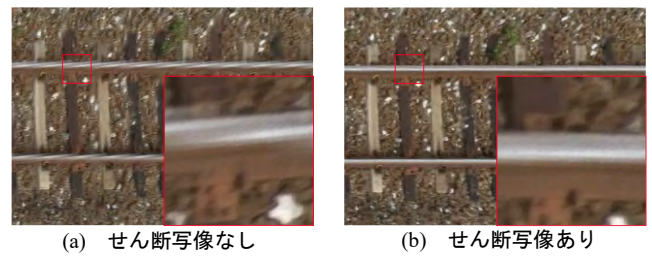
図 4 ブレンディングの重みについて

Fig. 4. Weights of alpha blending.

画像に変換した例を図 2(b)に示す。なお、カメラと軌道面の位置関係は列車の走行では大きく変化しないため、以降では 1 箇所の直線区間で求めたパラメータを用いる。

〈2・2〉 俯瞰画像の位置合わせ 射影変換によって変換された軌道面の俯瞰画像について、長尺な俯瞰画像に連結するために連続する俯瞰画像間で位置合わせを行う。軌道面が平面であり、走行の際にカメラの角度と軌道面に対する設置高さが変わらずに移動していると仮定すれば、俯瞰画像は平行移動だけで位置が合うと考えられる。ただし、実際には、軌道面が完全な平面ではなく、車体の動揺などによる誤差も存在するため、オプティカルフローを用いてこれらの誤差を低減する。求めたオプティカルフローは複数の領域の移動ベクトルとして算出されるため、標準偏差から外れている外れ値を除外した上で平均し、画像全体の移動量とする。ただし、オプティカルフローはカメラからの高さが大きく変化しない軌道面の領域のみを採用し、最終的な移動量の計算に用いる。また、列車が駅で停止した場合など、ほとんど同じ位置から撮影された画像は合成する必要がないため、移動量が一定以上になった画像だけを合成に用いる。位置合わせ後の俯瞰画像を $\alpha=0.5$ の固定値によるアルファブレンディングで合成した結果を図 3(a)に示す。

俯瞰画像の位置合わせにおいては、カメラからの高さが増えない計算領域の設定が重要である。鉄道には列車の



(a) せん断写像なし (b) せん断写像あり

図 5 曲線区間における合成結果の例

Fig. 5. Composite results on curves.

建築限界と呼ばれる走行に支障をきたさないように建造物を設置する際の制限が存在するため、これを基準に領域を設定すると良い。特に、ホームにおいては建築限界が狭くなり、一般的な在来線におけるホーム下部の建築限界の幅はレールを中心とした幅 2,950mm の範囲となる。軌間が 1,067mm であることを考慮すると、計算領域は軌間の画素数の 3 倍以下に設定するべきである。また、移動速度が高速になった場合、俯瞰画像下端の領域は次のフレームには映らないため、オプティカルフローが正しく算出できない。正しく計算できない領域を使わないために、列車の最高速度から画像下端にもマージンを設定すると良い。例えば、カメラを 30fps に設定した場合、一般的な在来線の列車最高速度が 130km/h 程度であることから、1 フレームあたりの最高の車両の移動量はおよそ 1.2m となる。この場合、俯瞰画像の下端にはレール幅の 1.2 倍以上のマージンを持たせると計算結果が安定すると考えられる。

〈2・3〉 画像の合成 画像の合成においては、結合部を目立たせないために、俯瞰画像同士が重なる領域において図 4 に示すような勾配を持たせたアルファブレンディングによって画像を合成する。ある時刻 t において、2 枚の俯瞰画像 I^t, I^{t+1} を合成した長尺な俯瞰画像 T は次式により求める。

$$T = (1 - \alpha(i))I^t + \alpha(i)I^{t+1} \dots\dots\dots(1)$$

$$\alpha(i) = \begin{cases} 0 & \text{if } i < dx^t, \\ \frac{i}{dx^t} - 1 & \text{if } dx^t \leq i < 2dx^t, \dots\dots\dots(2) \\ 1 & \text{if } 2dx^t \leq i. \end{cases}$$

ここで、 i は I^t 俯瞰画像の画像端を 0 とした、レール長手方向の画像上の座標であり、 dx^t は I^t, I^{t+1} 間のレール長手方向の移動量である。移動量 dx^t が大きくなるほど、俯瞰画像間の位置合わせが難しくなる。俯瞰画像の位置が多少ずれた場合でも滑らかに合成されるように、移動量である dx^t を基準にブレンディングの幅を決定している。なお、実際には長尺な俯瞰画像に対して連続するフレームを逐次的に合成する。図 3 に $\alpha=0.5$ で固定した場合の合成結果と、式(1)による合成結果を示す。式(1)による合成の方が、結合部はより滑らかに、画像全体としてはより鮮明に合成できていることが確認できる。

〈2・4〉 曲線区間の補正 曲線区間においては、カント

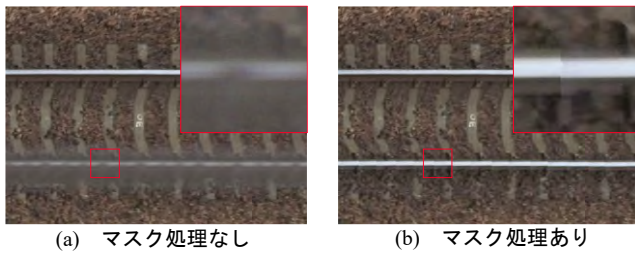


図 6 マスク処理による映り込みの除去

Fig. 6. Noise removal by masking.

やレールの曲率によって射影変換後の俯瞰画像でレールが斜めになり、画像を滑らかに合成できない。そこで、俯瞰画像をせん断写像させることでレールの傾きを補正し滑らかに接続させる。図 5 に曲線区間で傾いた射影変換の結果とせん断により補正した結果を示す。補正によって傾いたレールが滑らかに繋がっていることが確認できる。図 5 の水平方向を x 、垂直方向を y とした時、画像全体の x, y 方向の移動量 dx, dy から移動方向の傾き m を求めて、式(3)によるせん断を施す。なお、レールは急激には曲がらないことから、傾き m について時系列で平均をとるなど、高周波数成分を除去することでより滑らかに変換できる。

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ m & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

$$m = \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots (4)$$

〈2・5〉 映り込みの除去 列車の運転台から前方映像を撮影した場合、車両機器の一部や窓ガラスの汚れなどが映り込む場合がある。これらの映り込みは図 6(a)に示すようにそのまま俯瞰画像上にも合成されてしまう。そこで、前方映像に対して、合成を無視するマスク領域を指定し、合成時に映り込みがある領域を除外する。図 7 に映り込み部分のマスク領域を設定している様子とマスクされた俯瞰画像を示す。映り込みの除去によって、図 6(b)に示すように映り込みが俯瞰画像に合成されなくなる。

3. 長尺な俯瞰画像の生成結果

営業列車で実際に撮影した列車前方映像を用いて、長尺な俯瞰画像を生成した。映像は横 3,840×縦 2,160 画素の 29.97fps で撮影し、映像の長さは全体で約 41 分、列車の走行距離はおよそ 28km である。射影変換のパラメータについては、レール位置を基準に設定し、まくらぎの大きさでアスペクト比を調整した。俯瞰画像の位置合わせでは、DIS Optical Flow⁴⁾を用いてオプティカルフローを求め、移動量が 50 画素を超えたフレームのみを合成の対象として採用した。また、移動量の計算領域については、高さと幅をレール幅の 3 倍にした矩形で設定し、画像下端のマージンはレール幅の 2 倍に設定した。曲線箇所の補正に用いる傾き m については、現在の傾きの重みを 0.1 とした指数平滑

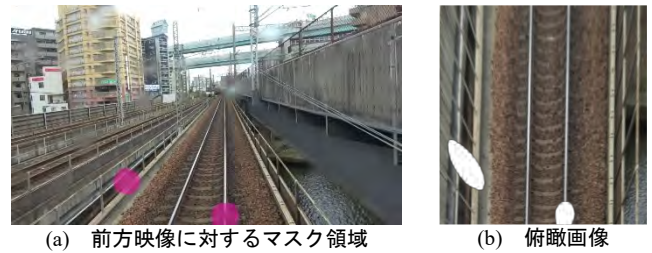


図 7 マスク領域の設定

Fig. 7. Setting mask areas.

化を用いて高周波成分を除去している。長尺な俯瞰画像の生成結果を図 8 に示す。撮影の開始駅から終了駅までの走行区間の全体で俯瞰画像を生成できている。

駅のプラットホームが画像中に撮られている箇所周辺は列車速度が低速であるが、一定の移動量があるフレームのみを合成に採用していることで、滑らかに画像が合成できている。地上子や踏切遮断機、コンクリート柱など軌道面から高さある設備は、斜めから撮影されたように映っているが、これは射影変換が軌道面の平面性を仮定した変換であるためである。

図 8 のうち上から 3 枚目の区間は列車が線区最高速度に近い 80km/h 程度で走行していると思われる区間である。列車の走行速度が高速であっても長尺な俯瞰画像が生成できることが分かる。列車が低速である箇所と比べるとぼけているが、これは列車の速度が速いほど、合成の元となる列車前方の映像がぶれやすいためである。

図 8 の上から 4 枚目の区間には、トンネルが含まれている。トンネル区間については、軌道面が真っ暗になってしまうため、オプティカルフローが計算できず、列車が動いていないと判定され極端に短く合成される。対策として、高感度カメラ等を使用することで、トンネル区間についても合成可能であると考えられる。

図 8 の上から 5 枚目の区間では、合成まくらぎやスラブ軌道が使用された区間であり、画像の特徴が連続するフレームで非常に類似しているが、問題なく俯瞰画像を合成できている。また、隣接線まで含めて合成されているが、合成位置がややずれていることが確認できる。これは、列車の揺れなどの影響を自列車の走行している軌道面を基準に位置合わせしているために生じると考えられる。

4. おわりに

列車前方の映像から長尺な俯瞰画像の生成手法を提案した。列車が走行しながら軌道面をスキャナーのように走査していると考え画像を合成する手法である。約 28km の区間の動画に対して提案手法を適用し、長尺な俯瞰画像が走行範囲全体で生成されることを確認した。今後は、高欄や側壁などの側面の設備や上面の電車線等の合成についても検討していく。

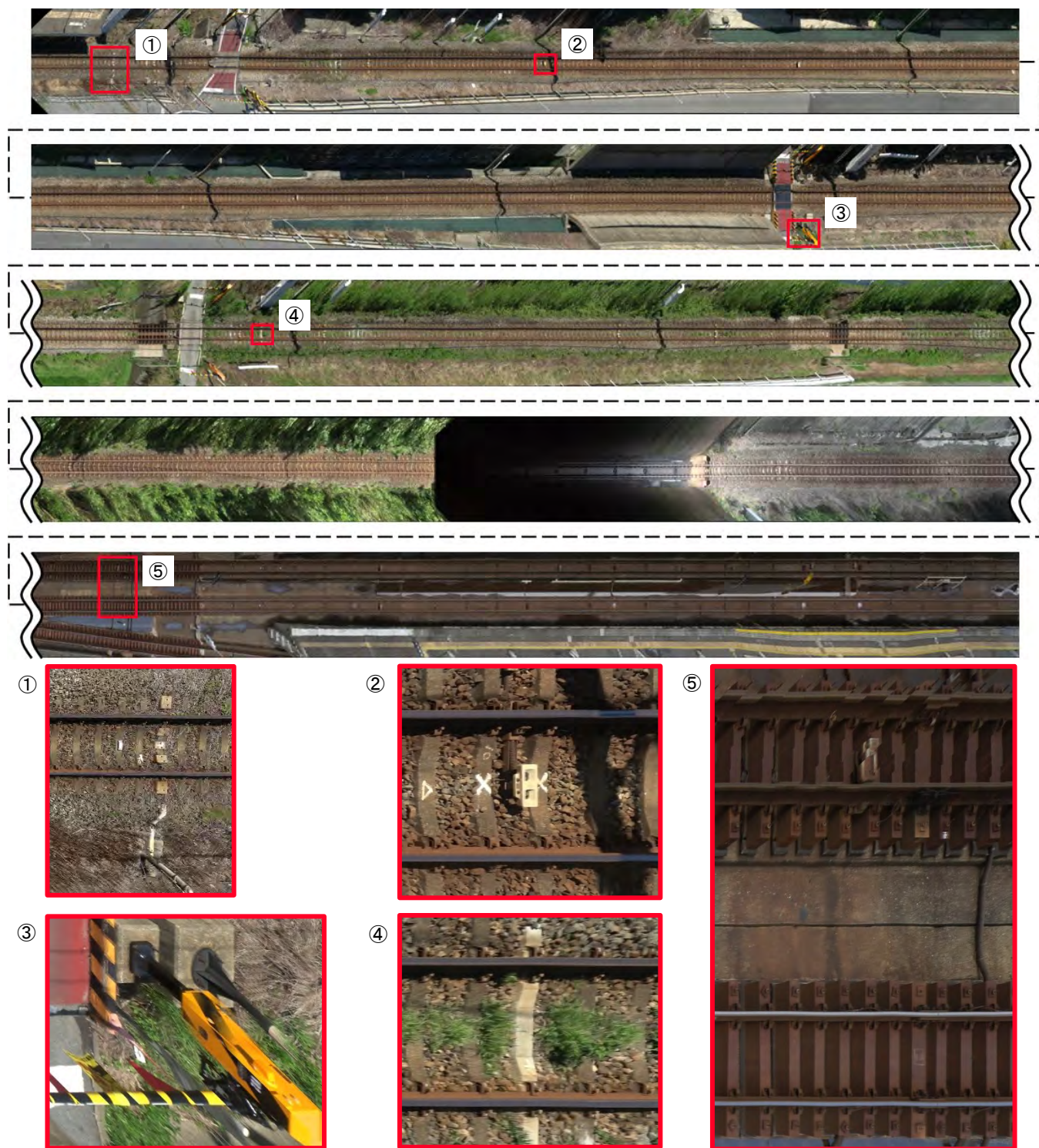


図 8 長尺な俯瞰画像の生成結果

Fig. 8. Long top-view image.

文 献

- (1) 向嶋ら：「ハンディカメラによる列車前方映像を用いた信号設備の管理支援システムの開発」, 鉄道総研報告, Vol.36, No.8 pp.45-50 (2022)
- (2) 栗原ら：「ハンディカメラ映像からの長尺な軌道画像の生成手法」, 令和3年電気学会全国大会講演論文集, p.47, 48, (2021)

- (3) M. Brown & D. G. Lowe: "Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features," International journal of computer vision, Vol. 74, No. 1, pp.59-73 (2007)
- (4) T. Kroeger et al.: "Fast optical flow using dense inverse search," Proc. In European Conference on Computer Vision (ECCV), pp.471-488, (2016)